$PM_{2.5}$ DAĞILIMININ BELİRLENMESİ İÇİN ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI : MARMARA BÖLGESİ ÖRNEĞİ

Y. Burak Öztaner[1], Burcu Güney[2], Kaan Kalkan[3], Ceyhan Kahya[2], Filiz Bektaş Balçık[3], Sedef Çakır[2]

[1]İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer bilimleri Enstitüsü İklim ve Deniz Bilimleri, 34469,Maslak, İstanbul
[2]İstanbul Teknik Universitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul
[3]İstanbul Teknik Universitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul

ÖZET

Her geçen gün artan çevre sorunlarının başında gelen hava kirliliği, tüm dünyanın olduğu gibi ülkemizin de çözmesi gereken en önemli çevre problemlerinden biri durumundadır. Dünya nüfusunun hızlı artışına paralel olarak, endüstrinin gelişimi, plansız şehirleşme, artan trafik ve enerji kullanımına dayalı olarak daha yoğun şekilde karşılaşılan hava kirliliği, insan sağlığı ve diğer canlılar üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta, yerel, bölgesel ya da evrensel ölçekte sorunlar ortaya çıkmaktadır. Hava kirleticileri, gazlar ve partiküler maddeler olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Çapı 2.5 mikrona eşit ya da daha küçük olan $PM_{2.5}$, ağırlıklı olarak fosil yakıtların kullanımı sonucu açığa çıkmakta ve canlılarda çok ciddi solunum ve dolaşım sistemi problemlerine neden olmakta, maruz kalındığı seviyeye bağlı olarak ölümlere yol açabilmektedir. Canlılar üzerindeki etkilerine dayalı olarak hava kalitesi parametrelerinin dağılımlarının belirlenmesi, sürdürülebilir hava kalitesi yönetimi için büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye'de ilk defa 2013 yılında Marmara Bölgesi'nde ölçülmeye başlanan $PM_{2.5}$ verileri ile farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak 14 hava kalitesi istasyonu için dağılım haritaları oluşturulmuştur. Noktasal geometriye referanslandırılmış öznitelik verilerini baz alarak bu noktalar arasındaki alanların değerleri hesaplanmış ve sonuçlar raster yüzeyler olarak ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlara dayalı olarak Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlemiş olduğu episodik sınırlar çerçevesinde Marmara Bölgesi'nin $PM_{2.5}$ dağılımının en uygun yöntem ile ortaya konması hedeflenmiştir.

Anahtar Sözcükler: *Enterpolasyon, Hava Kalitesi, Marmara Bölgesi, $PM_{2.5}$.*

ABSTRACT

COMPARISON OF INTERPOLATION TECHNIQUES TO DETERMINE $PM_{2.5}$ DISTRIBUTION: MARMARA REGION CASE STUDY

Air pollution as one of the most important environmental problems is the major issue to be solved. Parallel to the rapid increase in the population of the world with respect to the development of the industry, unplanned urbanization, increasing traffic and energy usage, air pollution is encountered more intensively; the intensive air pollution poses negative effects on human health and other living creatures leading to the local, regional and global problems. Air pollutants can be categorized in two major categories: gases and particulate matter (PM). $PM_{2.5}$ is categorized for the air pollutants with a diameter of 2.5 micron or smaller, and primarily released as a result of the fossil fuel usage. It can cause severe respiratory and circulatory system problems on all living creatures and this can lead to fatality depending on the level of exposure. On the basis of the effects on all living creatures, it is essential to determine the distribution of the air quality parameters for sustainable air quality management.

In this study, distribution maps of $PM_{2.5}$ values for 14 air quality observation stations over Marmara Region were studied, using different interpolation techniques using the data measured for the first time in 2013. $PM_{2.5}$ values of the areas between these points were calculated based on the attribute data georeferenced by point geometry and results were expressed as raster surfaces. According to the obtained results it is aimed to demonstrate the distribution of $PM_{2.5}$ over Marmara Region using the best method within the episodic limits that World Health Organisation has determined.

Keywords: *Air Quality, Interpolation, Marmara Region, $PM_{2.5}$.*

1. GİRİŞ

İnsanoğlu son 50 yılı, enerji ihtiyacını karşılayabilmek için fosil yakıtları yeryüzüne çıkartıp işlemekle geçirmiştir. Bu durumun son 20 yılda ivme kazanması ise şehirlerdeki hava kalitesinin azalmasına neden olmuştur. Hava kalitesinde yaşanan bu azalma, özellikle büyük şehirlerde yaşayan insanların sağlığını tehdit etmeye ve büyük ekonomik kayıplara neden olmaya başlamış, bunun sonucunda hava kalitesi 21. yy'nin en büyük çevre sorunu haline gelmiştir (Tayanç vd., 2009). Atmosferdeki partiküler maddelerin (PM) bilinen kesin bir kimyasal formülü yoktur. Antropojenik faaliyetlerden ve doğal kaynaklardan ortaya çıkan PM'ler atmosferde karışır ve taşınırlar. 2.5 μm'den küçük aerodinamik yarıçapa sahip partiküller, $PM_{2.5}$ olarak adlandırılır. $PM_{2.5}$ solunum sistemindeki bronşcuklarda birikerek kardiyovasküler ve üst solunum yolu hastalıklarına sebep olabilir, hatta ölümle sonuçlanan sağlık sorunları yaratabilirler (Kowalska vd., 2010; Mahiyuddin vd., 2013).

Türkiye, Avrupa Birliği Hava Kalitesi Alt Direktif (The Daughter Directive into Air Quality) düzenlemelerini 2008 yılında kabul etmiştir. Bu düzenlemelere göre hava kalitesi izleme ağında bulunan istasyon sayısı artırılmıştır (European Commission, 2008). Ayrıca, hava kirliliğinin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini önlemek ve azaltmak, hava kalitesi ile ilgili bilgi toplamak ve uyarı eşikleri aracılığı ile halkın bilgilendirilmesini sağlamak amacıyla, 2008 yılında İstanbul'da Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na bağlı olarak Marmara Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü (MHTM) kurulmuştur (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014). Hava Kalitesi İzleme ağındaki 125 istasyon ve MHTM bünyesindeki 39 istasyon ile Türkiye ve Marmara Bölgesi'nin hava kalitesi sürekli takip edilmektedir.

Hızlı şehirleşmeye paralel olarak ortaya çıkan hava kirliliği sorunları son 20 yılda Türkiye'de ve Avrupa'da hava kalitesi üzerine yapılan bilimsel çalışmaları da artırmıştır (Ozkızılkaya vd., 2009, Barı vd., 2010; Im vd., 2011; Baltacıbaşı vd., 2012, Im vd., 2012; Kılıç vd., 2012, Kahya vd., 2013; Ozdemir vd., 2014). Türkiye uzun mesafe toz ve hava kirleticilerinin taşınımına da maruz kalmaktadır (Kindap vd., 2006; Kabatas vd., 2014). Çalışmalar hava kirliliği sorununun gözlemlenmesi, yönetilmesi ve tahmin edilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Bunun için en hızlı yöntem olarak enterpolasyon ve coğrafi bilgi sistemleri ön plana çıkmaktadır. Enterpolasyon yöntemleri atmosfer bilimleri alanında oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır. Farklı koşullarda yapılan birçok çalışmada, hava kirliliği dağılımını belirlemek için enterpolasyon yöntemleri kullanılmış ve karşılaştırılmıştır (Wu vd., 2006; Horálek vd., 2008; Horálek vd., 2010; Jha vd., 2011; Thepanondh ve Toruksa, 2011; Öztaner ve Sakarya, 2012).

Bu çalışmada, Türkiye'de ilk defa 2013 yılında Marmara Bölgesi'nde ölçülmeye başlanan $PM_{2.5}$ verileri ve farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak 14 hava kalitesi istasyonu için dağılım haritaları oluşturulmuştur. Noktasal geometriye referanslandırılmış öznitelik verilerini baz alarak bu noktalar arasındaki alanların değerleri hesaplanmış ve sonuçlar raster yüzeyler olarak ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlara dayalı olarak Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) belirlemiş olduğu episodik sınırlar çerçevesinde Marmara Bölgesi'nin $PM_{2.5}$ dağılımının en uygun yöntem ile ortaya konması hedeflenmiştir.

2. VERİ VE ÇALIŞMA BÖLGESİ

MTHM, Marmara Bölgesi'nde bulunan 11 ilde hava kalitesi ölçüm istasyonlarının kurulumu, işletilmesi, bakım ve onarımının yapılması, emisyon veri tabanının oluşturularak bölge için uygun bir model oluşturulması, temiz hava eylem planlarının oluşturulması gibi görevleri yürüterek, bölge için daha temiz ve solunabilir bir havanın sağlanmasından sorumludur.

Marmara Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü, Marmara Hava Kalitesi İzleme Ağı kapsamındaki 39 istasyon yardımıyla bölgedeki hava kirleticilerini ölçmekte ve ölçüm sonuçları Hava Kalitesi İzleme İstasyonları internet sitesinden güncel olarak paylaşılmaktadır. İstasyonlar bulundukları konumlara ve ölçüm çeşitlerine göre sekize ayrılmaktadır: İstasyonların sekiz tanesi trafik ve bir tanesi gemi trafiği kaynaklı emisyon ölçümü yapmakta olup, dört tanesi kırsal, altı tanesi yarı kırsal, beş tanesi sanayi, sekiz tanesi kentsel, bir yarı kırsal - sanayi, bir kırsal - ekoloji ve iki kentsel - sanayi bölgelerinde konumlandırılmıştır. İzleme ağı kapsamındaki bu istasyonlarda PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, SO_2, O_3, CO, BTX (benzen, toluen ve 3 ksilen izomer karışımı) ve meteorolojik ölçümler yapılmaktadır; MTHM, Silivri, Kâğıthane, Ümraniye, Gölcük, Kandıra, Çerkezköy, Ozanlar, Altınova, Armutlu, Uludağ Üniversitesi, Karaağaç, Keşan ve Lâpseki olmak üzere 14 istasyonda $PM_{2.5}$ değerleri ölçülmektedir. Çalışmada istasyonlardan elde edilen $PM_{2.5}$ verileri saatlik veriler olup, ilk ölçümün başladığı tarih olan Mart 2013 ile Şubat 2014 periyodunu kapsamaktadır.

3. YÖNTEM

Elde edilen noktasal istasyon verilerinden enterpolasyon haritalarının oluşturulması için iki farklı enterpolasyon yöntemi seçilmiştir. Mekansal verilerin enterpolasyonunda başarılı sonuçlar veren Kriging yöntemi ve Inverse Distance to a Power yöntemleri ile yapılan enterpolasyon haritaları karşılaştırılmıştır. Ekstrapolasyondan kaçınmak adına Marmara Bölgesi içerisindeki istasyon noktalarını çevreleyen koordinat sınırları içerisinde enterpolasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Inverse Distance to a Power gridleme yöntemi, verilerin ağırlıklı ortalamasını temel alan bir enterpolasyon yöntemidir. Yumuşatılmış ve hızlı sonuç alınması gereken durumlarda kullanılan bir yöntem olan Inverse Distance to a Power yöntemi matematiksel işlemler ile sonuç üretmektedir (1).

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Z_i}{r_i^p}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{r_i^p}} \qquad (1)$$

Kriging yöntemi mekansal verilerin enterpolasyonunda en çok kullanılan yöntem olarak kabul edilmiştir. Çoğu yazılımda ön tanımlı yöntem olarak Kriging yöntemi kullanılmaktadır. Kriging yöntemi ile düzensiz yapıda dağılmış verilerden yüzey eğrileri etkin bir şekilde elde edilmektedir. Veri içerisindeki eğilimleri de değerlendiren Kriging yöntemi, uygun variogram modeli ile tüm veriler için uygun bir model geliştirebilmektedir.

4. BULGULAR

Enterpolasyon yöntemleri Marmara Bölgesi'nde bulunan 14 istasyondan 12 tanesi için uygulanmıştır. Silivri ve Ümraniye istasyonları doğrulama için kontrol istasyonları olarak ayrılmış ve kullanılan metotların sonuçları bu iki istasyon için karşılaştırılmıştır. Tüm istasyonların Mart 2013-Şubat 2014 döneminde ölçülen $PM_{2.5}$ değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

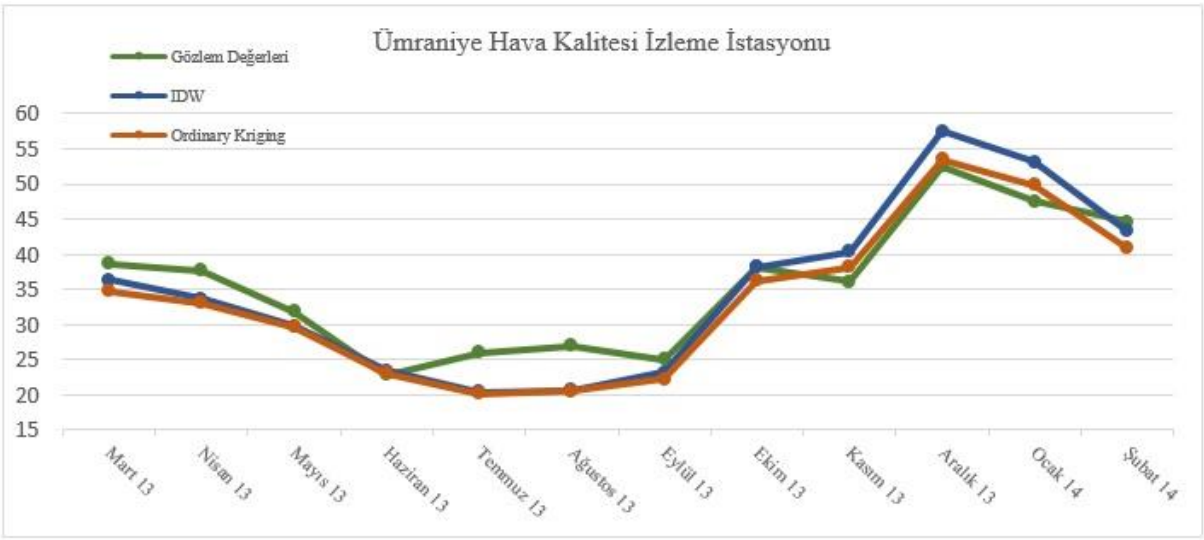
Çizelge 1. İstasyon Bazında $PM_{2.5}$ Değerleri ($\mu g/m^3$)

İstasyonlar	**$PM_{2.5}$ Değerleri ($\mu g/m^3$)**
Uludağ Üniversitesi	29
Keşan	57
Karaağaç	22
Kağıthane	37
Silivri	23
Ümraniye	35
Gölcük	27
Kandıra	18
Ozanlar	43
Çerkezköy	28
Armutlu	21
Altınova	25
Lapseki	19

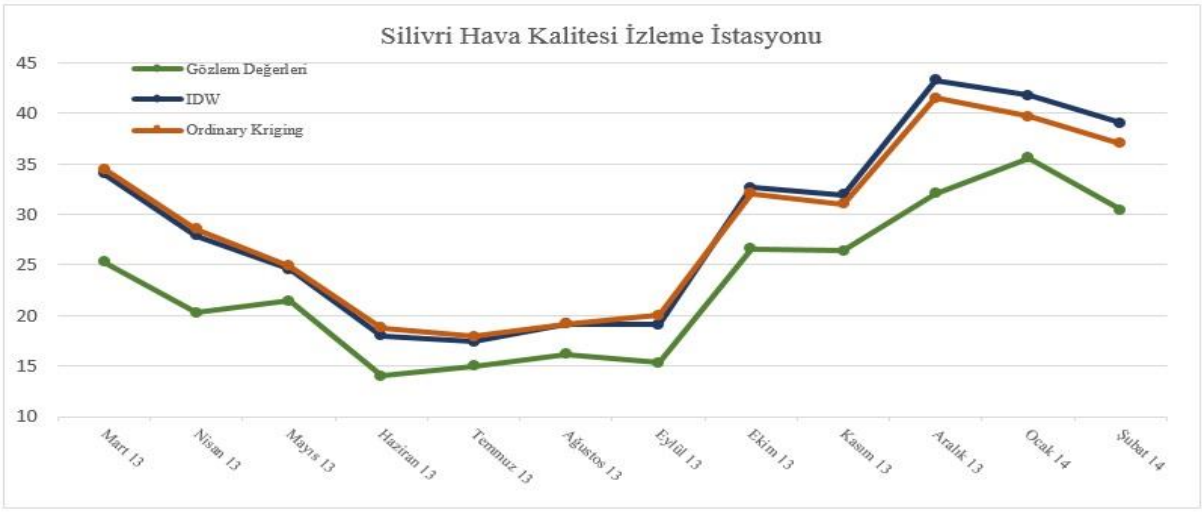
Tüm istasyonlarda ölçülen $PM_{2.5}$ değerlerinin, Dünya Sağlık Örgütü yıllık ortalama $PM_{2.5}$ standardı olan 10 $\mu g/m^3$'ün üzerinde kaldığı görülmektedir. Avrupa Birliği'nin (AB) kabul ettiği son hava kalitesi direktifindeki standartlara göre, $PM_{2.5}$ için yıllık ortalama AB standardı 25 $\mu g/m^3$'tür.

AB çerçevesinde değerlendirdiğimizde ise, Karaağaç, Silivri, Kandıra, Armutlu ve Lâpseki standart değerin altında kalmış ve Altınova ise $PM_{2.5}$ bakımından standart değeri yakalamıştır. Uludağ Üniversitesi, Keşan, Kâğıthane, Ümraniye, Gölcük, Ozanlar ve Çerkezköy'de Avrupa Birliği standartlarının çok üzerinde değerler elde edilmiş ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonu bakımından riskli bölgeler olarak sınıflandırılmıştır.

Şekil 1 ve Şekil 2'de, kontrol istasyonları olan Ümraniye ve Silivri istasyonları için gözlem değerleri ve model sonuçları arasındaki korelasyon gösterilmiş, Marmara Bölgesi için aylık Inverse Distance to a Power ve Kriging enterpolasyon sonuçları ise Şekil 3 ve Şekil 4'de verilmiştir.

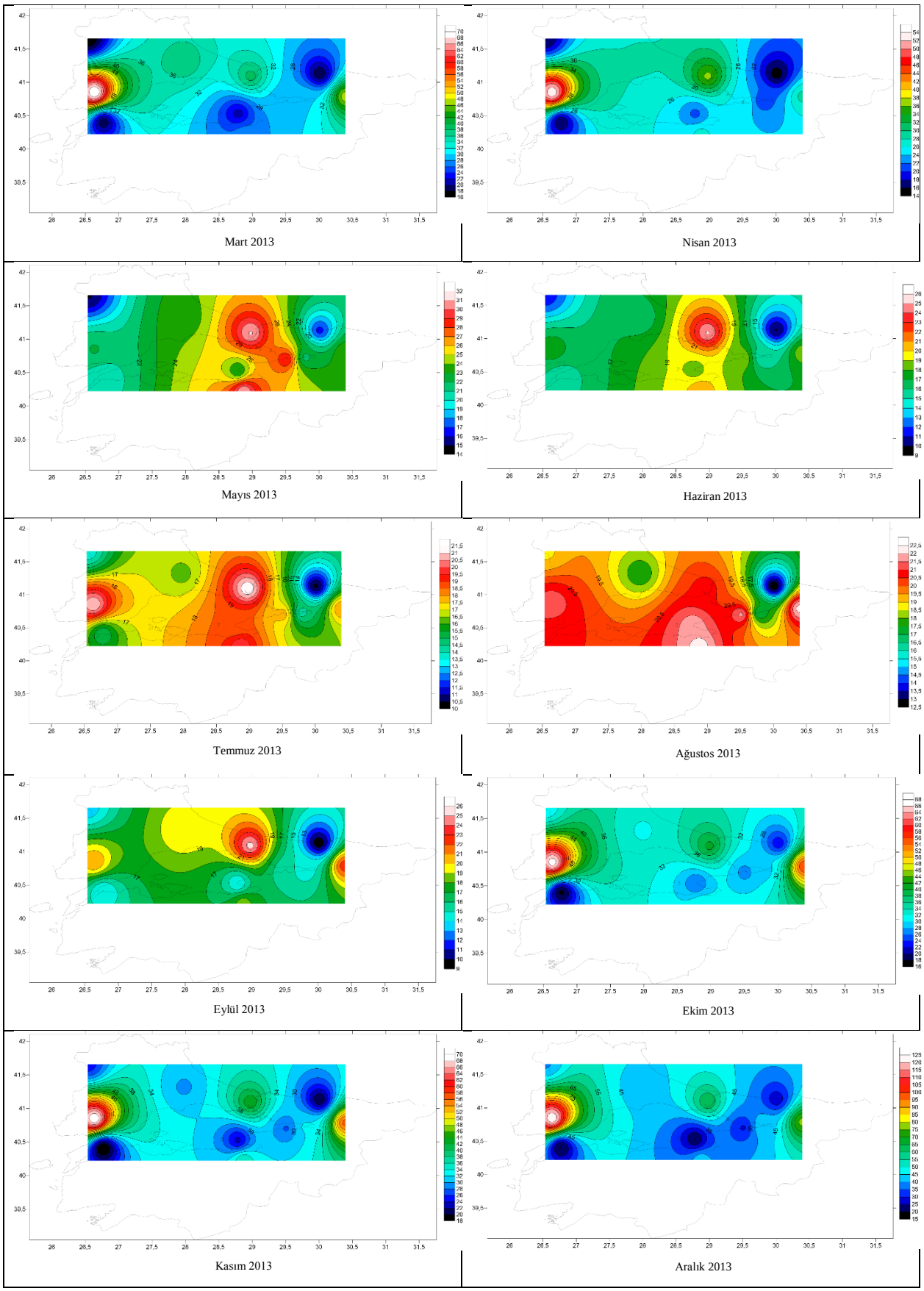


Şekil 1. Ümraniye İstasyonu İçin Gözlem Değerleri ve Model Sonuçları Korelasyonu



Şekil 2. Silivri İstasyonu İçin Gözlem Değerleri ve Model Sonuçları Korelasyonu

Inverse Distance to a Power ve Kriging yöntemleri, Ümraniye hava kalitesi istasyonu sonuçlarında kış ayları (Aralık, Ocak, Şubat) hariç birbirini takip etmiştir. İlkbahar ve yaz aylarında (Haziran, Temmuz, Ağustos) gözlem değerleri modellenenden daha fazladır. Fakat Silivri hava kalitesi istasyonunda gözlem değerleri tahmin edilen değerlerden daha aşağıda olup, Inverse Distance to a Power ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile yüksek değerler bulunmuştur (Şekil 1 ve 2).



Mart 2013

Nisan 2013

Mayıs 2013

Haziran 2013

Temmuz 2013

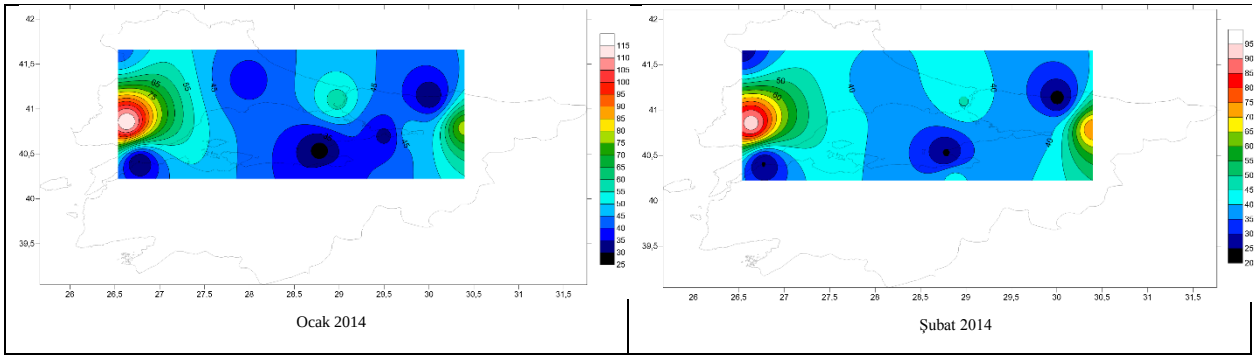
Ağustos 2013

Eylül 2013

Ekim 2013

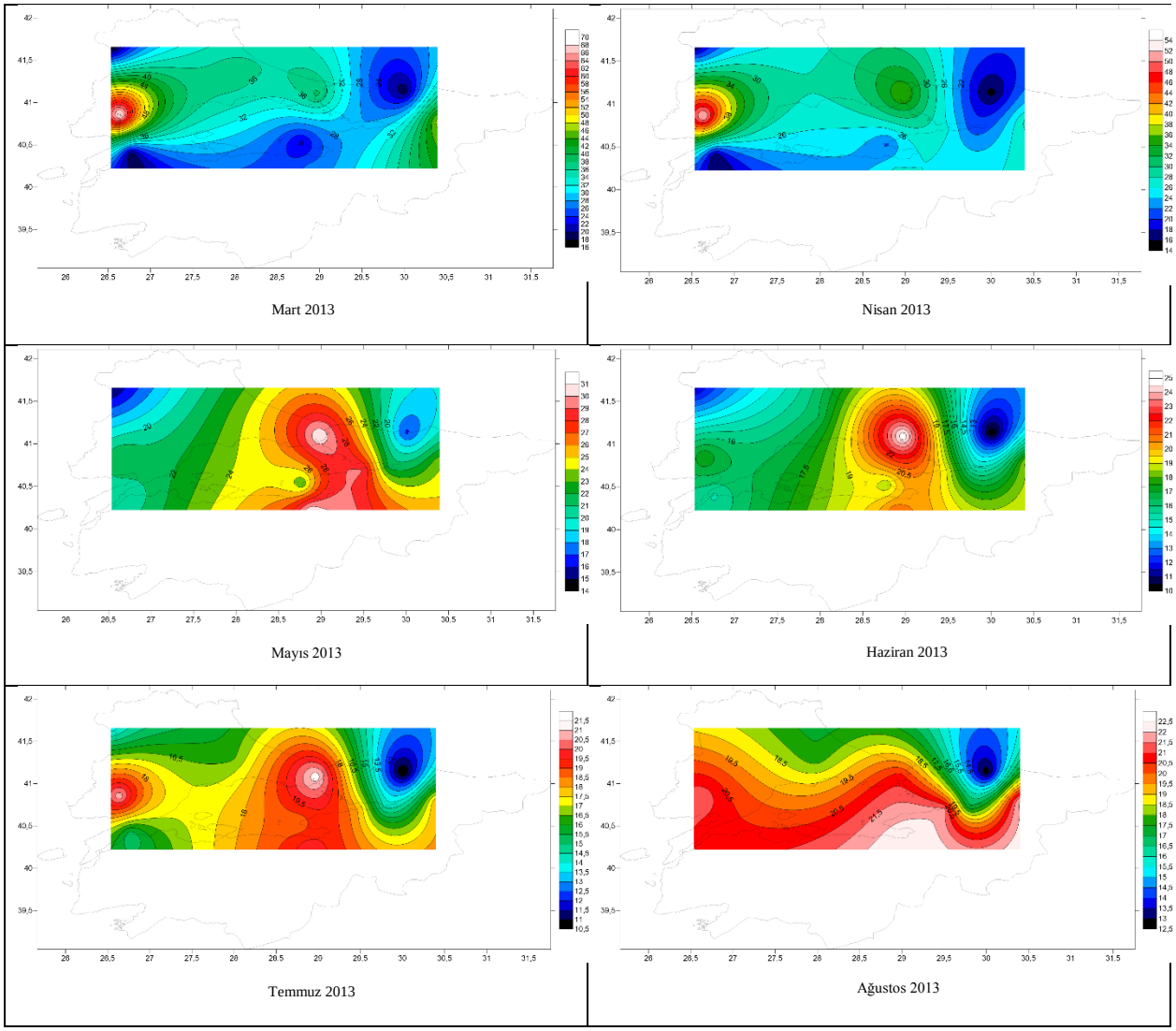
Kasım 2013

Aralık 2013



Ocak 2014 | Şubat 2014

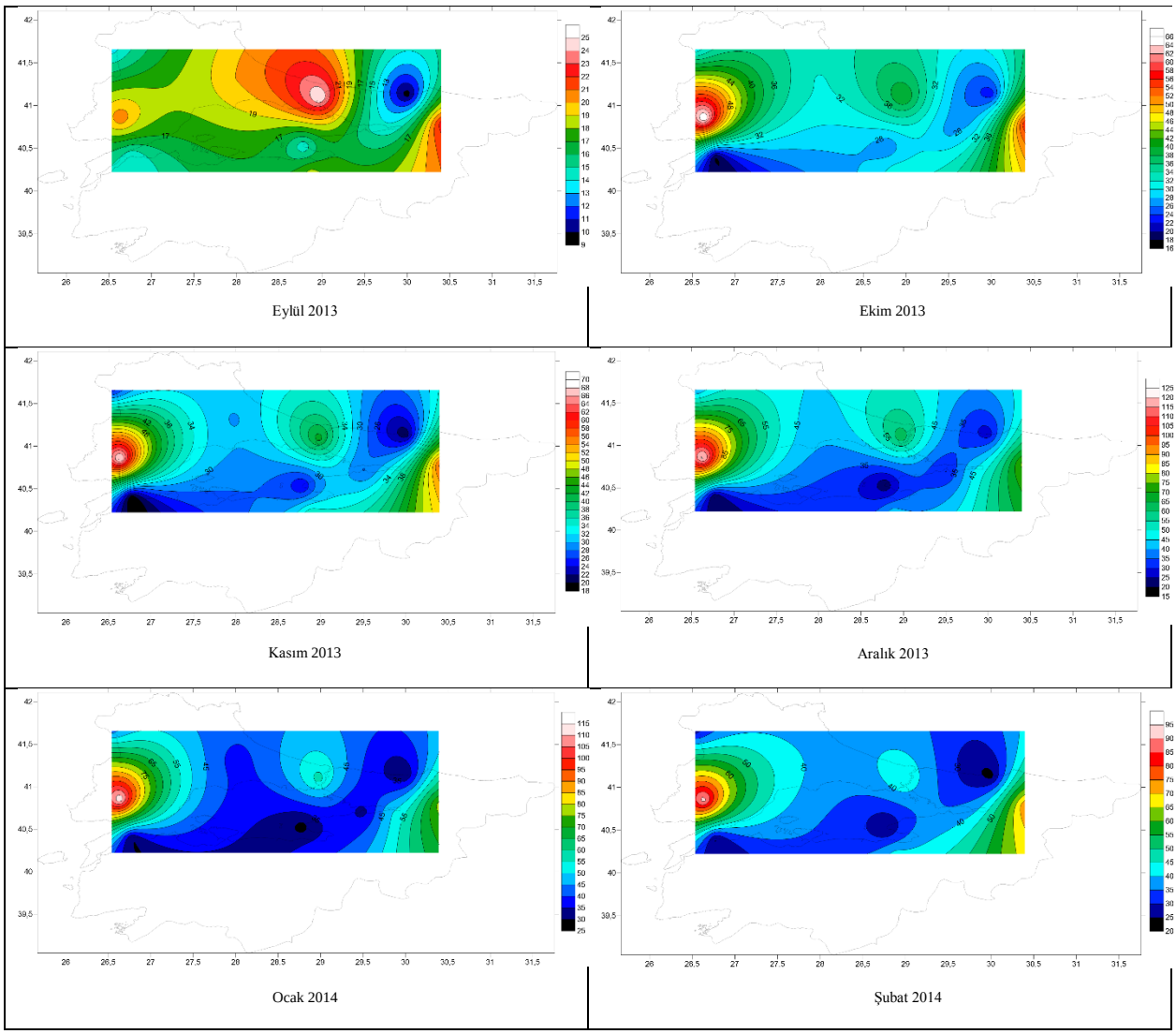
Şekil 3. Marmara Bölgesi için Inverse Distance to a Power Sonuçları



Mart 2013 | Nisan 2013

Mayıs 2013 | Haziran 2013

Temmuz 2013 | Ağustos 2013



Şekil 4. Marmara Bölgesi için Kriging Sonuçları

İstasyonlar için tahmin edilen değerler ile gözlem değerleri arasında istatistiksel testler ile uygulanan enterpolasyon yöntemlerinin sınaması yapılmıştır. Buna göre Ümraniye istasyonu düşük karasel ortalama hata (KOH) değerlerine sahiptir. Korelasyon katsayısı ve KOH değerlerine göre Kriging yönteminin daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Silivri istasyonunda ise Kriging yöntemi , Inverse Distance to a Power yöntemine göre daha düşük KOH değerleri elde edilmiştir. Korelasyon katsayıları da birbirlerine oldukça yakındır. Her iki kontrol istasyonu için değerlendirdiğimizde, Kriging gözlem değerlerine göre daha gerçekçi sonuçlar vermiştir. Sonuçların güvenilirliği açısından normalize edilmiş ortalama karesel hata (NMSE) ve normalize edilmiş ortalama karesel hatanın karekökü (NRMSE) de hesaplanmıştır. NMSE için sonuçların sıfıra yakın değerler vermesi modelin başarılı sonuçlara ulaştığını göstermektedir (Silva vd., 2010). NMSE ve NRMSE hesaplamalarına ilişkin elde edilen değerler Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Ümraniye ve Silivri İstasyonları için Kriging ve IDW İstatistik Analiz Sonuçları

	IDW		**KRIGING**	
	Ümraniye	**Silivri**	**Ümraniye**	**Silivri**
KOH	3,832145	6,415638	3,587854	5,96505
Korelasyon Katsayısı	0,967581	0,979568	0,969719	0,969002
NRMSE	0,128903	0,296921	0,120686	0,276068
NMSE	0,034326	0,147771	0,030089	0,127743

Aylık değerler bazında değerlendirdiğimizde ise, Kriging metodu Ümraniye istasyonu için yaz mevsimi, Eylül, Kasım, Aralık ve Ocak aylarında diğer dönemlere kıyaslandığında daha iyi sonuçlar verirken, Silivri istasyonu için Ekim, Kasım ayları ve kış mevsimi sonuçları daha başarılı olmuştur.

5. SONUÇLAR

Enterpolasyon uygulama açısından basit ve hızlı oluşu nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. İstatistiksel bir yöntem olmasına dayalı olarak gözlem değerlerinden olan farkların bulunmasında sıklıkla ele alınmaktadır.

Bu çalışmada, enterpolasyon tekniklerinden Kriging ve Inverse Distance to a Power yöntemleri Marmara Bölgesi'nde ölçümleri gerçekleştirilen $PM_{2.5}$ değerlerinin dağılımının belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Tüm istasyonlarda ölçülen $PM_{2.5}$ değerlerinin, Dünya Sağlık Örgütü yıllık ortalama $PM_{2.5}$ standardı olan 10 $\mu g/m^3$'ün üzerinde kaldığı görülmektedir. Avrupa Birliği'nin kabul ettiği son hava kalitesi direktifindeki standartlara göre, $PM_{2.5}$ için yıllık ortalama AB standardı 25 $\mu g/m^3$'tür. AB çerçevesinde değerlendirdiğimizde ise, Karaağaç, Silivri, Kandıra, Armutlu ve Lâpseki standart değerin altında kalmış ve Altınova ise $PM_{2.5}$ bakımından standart değeri yakalamıştır. Uludağ Üniversitesi, Keşan, Kâğıthane, Ümraniye, Gölcük, Ozanlar ve Çerkezköy ise Avrupa Birliği standartlarının çok üzerinde değerler elde etmiştir ve $PM_{2.5}$ konsantrasyonu bakımından riskli bölgeler olarak sınıflandırılabilirler. AB standartları üstünde değerlere sahip bu istasyonların ağırlıklı olarak nüfusun yoğun olduğu yerleşim alanları ile endüstri bölgelerinde yer alması beklenen bir sonuçtur. Gerçekleştirilen bu çalışma ile tüm Marmara Bölgesi için elde edilen değerler kullanılarak sadece istasyonların bulunduğu noktalar için değil, diğer alanlar için de $PM_{2.5}$ değerinin belirlenmesi ve standartlarla karşılaştırılması mümkün olmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 113Y331 numaralı "Marmara Bölgesi için $PM_{2.5}$ Dağılımının Modis ile Belirlenmesi" projesinin bir parçasıdır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Marmara Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü'ne proje kapsamında sağlamış olduğu veriler için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Baltacibasi, S., Unal, A., Kindap, T., Karaca, M., 2012. Spatio-Temporal Analysis of PM10 Concentration in Turkey. *Air Quality Managemen at Urban, Regional and Global Scales 4th International Symposium and IUAPPA Regional Conference Proceedings*, 10-13 Eylül 2012, Istanbul.

Bari, D., Topcu, S., Incecik, S., Kahya, C., 2010. Stratospheric Ozone Climatology and Its Variability over Ankara. *Advances in Geosciences, 16*, 201-203.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014. Marmara Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü: http://mthm.havaizleme.gov.tr, alınma tarihi: 08.04.2014

European Commission, 2008. *EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe.* EU.

Horalek, J., Smet, P., Leeuw, F., Conkova, M., Denby, B., Kurfürst, P., 2010. Methodological Improvements on Interpolating European Air Quality Maps. The European Topic Centre on Air and Climate Change, ETC/ACC, 80 pp.

Horalek, J., Smet, P., Leeuw, F., Conkova, M., Denby, B., Kurfürst, P., 2008. European Air Quality Maps for 2005 Including Uncertainty Analysis. The European Topic Centre on Air and Climate Change, 155 pp.

Im, U., Incecik, S., Guler, M., Tek, A., Topcu, S., Unal, Y., 2012. Analysis of Surface Ozone and Nitrogen Oxides at Urban, Semi-Rural and Rural Sites in Istanbul, Turkey. *Science of Total Environment, 443C*, 920-931.

Im, U., Poupkou, A., Incecik, S., Markakis, K., Kindap, T., Unal, A., 2011. The Impact of Anthropogenic and Biogenic Emissions on Surface Ozone Concentrations in Istanbul. *Atmospheric Chemistry and Physics, 11*, 3847-3864.

Jha, D., Sabesan, M., Das, A., Vinithkumar, N., Kirubagaran, R., 2011. Evaluation of Interpolation Technique for Air Quality Parameters in Port Blair, India. *Universal Journal of Environmental Research and Technology, 1(3),* 301-310.

Kabatas, B., Unal, A., Pierce, R., Kindap, T., Pozzoli, L. 2014. The Contribution of Saharan Dust in PM10 Concentration Levels in Anatolian Peninsula of Turkey. *Science of Total Environment,* Vol. 488–489, 413–421.

Kahya, C., Demirhan, D., Topcu, S., Incecik, S., 2013. Ozone Profiles and Structure of Lamination in Ankara, Turkey. *EGS-AGU-EUG Joint Assembly.* 6-11 Nisan 2003, Nice, Fransa..

Kilic, D., Baltacibasi, S., Unal, A., Kindap, T., 2012. A Decadal Spatial and Temporal Analysis of PM_{10} in Istanbul: 1998-2008. *EGU-2012 Proceedings Book.* Viyana.

Kindap, T., Unal, A., Chen, S.-H., Hu, Y., Odman, M., Karaca, M., 2006. Long-Range Aerosol Transport From Europe to Istanbul, Turkey. *Atmospheric Environment, 40,* 3536-3547.

Kowalska, M., Zejda, J. E., Skrzypek, M., 2010. Short-term Effects of Ambient Air Pollution on Daily Mortality. *Polish Journal of Environmental Studies, 19* (1), 101-105.

Mahiyuddin, W., Sahani, M., Aripin, R., Latif, M., Thach, T., C., W., 2013. Short-Term Effects of Daily Air Pollution on Mortality. *Atmospheric Environment*, 69-79.

Ozdemir, H., Pozzoli, L., Kindap, T., Demir, G., Mertoglu, B., Mihalopoulos, N., 2014. Spatial and Temporal Analysis of Black Carbon Aerosols in Istanbul Megacity. *Science of Total Environment, 473-474,* 451-458.

Ozkızılkaya, Ö., Incecik, S., Kahya, C., 2009. Recent Stratospheric Ozone Measurements over Ankara-Turkey and Evaluation of Ozone Profiles. *EGU Conference Proceedings.* Vienna.

Öztaner, Y.B. Sakarya, S., 2012. Evaluation Of Three Interpolation Methods For Particulate Matter Pollution Distribution Under The Influence Of Inversion As A Case Study For Istanbul And Izmit. AQM2012 and IUAPPA Regional Conference, 10-13 Eylül 2012, İstanbul.

Silva, L., Mendes, J., Ramos, R., 2010. Urban Air Dispersion Model of a Mid-Sized City. Validation Methodology. *WSEAS TRANSACTIONS on ENVIRONMENT and DEVELOPMENT*. 6. Naples: WSEAS.

Tayanc, M., Im, U., Dogruel, M., Karaca, M., 2009. Climate change in Turkey for last half century. *Climatic Change* 483-502.

Thepanondh, S., Toruksa, W., 2011. Proximity analysis of air pollution exposure and its potential risk. *Journal of Environmental Monitoring, 13,* 1264.

Wu, J., Winer, A., Delfino, R., 2006. Exposure Assessment of Particulate Matter Air Pollution Before, During and After the 2003 Southern California Wildfires. *Atmospheric Environment*, 3333-3348.